บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

จังหวัดภูเก็ต เป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของภาคใต้ตอนบนของประเทศไทย หรือชายฝั่งทะเลอันดามัน มหาสมุทรอินเดีย มีพื้นที่โดยรวม 570.034 ตารางกิโลเมตรประกอบด้วย เกาะภูเก็ต และเกาะบริวาร 32 เกาะ ซึ่งเป็นเกาะที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย (สถิติสำคัญจังหวัดภูเก็ต ประจำปี 2544, 2544) และเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญจังหวัดหนึ่งของประเทศไทย

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาจังหวัดภูเก็ตได้ประสบปัญหาด้านการจัดการมูลฝอย เนื่องมาจากปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มขึ้น รวมถึงลักษณะของการกำจัดมูลฝอยโดยใช้วิธีการเทกองและจุดไฟเผาเป็นครั้งคราวบนพื้นที่ที่จำกัดเท่าที่หาได้ ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลประกอบกับการขาดแคลนสถานที่ ที่จะใช้เป็นพื้นที่ในการฝังกลบมูลฝอย ส่งผลให้ไม่สามารถใช้พื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีเป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 47 ตัน/วัน ในปี พ.ศ. 2535 เป็นประมาณ 300 ตัน/วัน ในปี พ.ศ. 2545 และเพิ่มปีน 500 ตัน/วัน ในปี พ.ศ. 2555 (ประชุม สุริยะ, 2542) เพื่อเป็นการแก้ปัญหาข้างต้น ในปี พ.ศ. 2538 เทศบาลเมืองภูเก็ตร่วมกับกรมโยธาธิการได้ทำการก่อสร้างระบบกำจัดมูลฝอยแบบเตาเผาขึ้น โดยใช้พื้นที่บริเวณป่าชายเลนคลองเกาะผีเนื้อที่ 46 ไร่ เป็นสถานที่ก่อสร้างอาคารสำหรับกำจัดมูลฝอยแบบเตาเผา มีความสามารถในการเผามูลฝอยได้ 250 ตัน/วัน ซึ่งใช้งบประมาณในการก่อสร้างประมาณ 778 ล้านบาท (เทศบาลเมืองภูเก็ต, 2544) ซึ่งมีหน่วยงานท้องถิ่นมาใช้ที่กำจัดมูลฝอยประกอบด้วย เทศบาล 6 แห่ง อบต. 13 แห่ง ส่วนราชการอื่นจำนวนกว่า 20 หน่วยงานและเอกชนทั่ว ๆ ไป (เทศบาลเมืองภูเก็ต, 2544)

กรมโยธาธิการได้ส่งมอบเตาเผามูลฝอยให้แก่เทศบาลเมืองภูเก็ต เมื่อวันที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ. 2543 ในส่วนการบริหารจัดการนั้น ทางจังหวัดภูเก็ตได้มอบหมายให้เทศบาลเมืองภูเก็ตเป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการ โดยราชการส่วนท้องถิ่นและเอกชนที่มาใช้บริการสมทบค่าดำเนินการตามปริมาณมูลฝอยที่นำมากำจัด ปัจจุบันจ้างบริษัท พีซี – มอนทีเนย์ จำกัด ดำเนินการ โดยเทศบาลเมืองภูเก็ตและกรมโยธาธิการเป็นผู้ควบคุมงานและตรวจงานจ้าง (เทศบาลเมืองภูเก็ต, 2544)

ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีการเผามูลฝอยจะเป็นวิธีที่ลดปริมาณของมูลฝอยได้มากที่สุด แต่ยังคงมีเถ้าตกค้างเป็นปริมาณมาก เถ้าจากการเผาไหม้มูลฝอยชุมชนแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เถ้าหนัก

(Bottom Ash) จะมีอนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งออกมาจากระบบเผาไหม้และถูกทำให้เย็นลงด้วยน้ำในช่องระบายเถ้า เถ้าจะถูกระบายลงสู่บ่อพักเถ้า จากนั้นจะใช้เครนขนถ่ายสู่รถบรรทุก แล้วนำไปฝังกลบ อีกประเภทหนึ่งคือ เถ้าลอย (Fly Ash) ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กจะถูกดักไว้ด้วยอุปกรณ์กรองฝุ่นชนิดถุง (Bag Filter) ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ จากนั้นจะนำเถ้าลอยไปฝังกลบในหลุมฝังกลบ (เทศบาลเมืองภูเก็ต, 2545)

จากสรุปรายงานประจำเดือน ระหว่างวันที่ 29 กรกฎาคม – 21 สิงหาคม พ.ศ. 2545 ซึ่งมีการเผามูลฝอย 24 วัน รวม 5,927.62 ตัน เฉลี่ย 246.98 ตัน/วัน เกิดเถ้าหนัก 1,172.94 ตัน เฉลี่ย 48.87 ตัน/วัน คิดเป็น 19.79% ของน้ำหนักมูลฝอย และเกิดเถ้าลอย 64.10 ตัน เฉลี่ย 2.67 ตัน/วัน คิดเป็น 1.08% ของน้ำหนักมูลฝอย ส่วนกากขี้เถ้าที่เกิดขึ้นนั้นจะนำไปกำจัดด้วยการนำไปฝังกลบยังพื้นที่ที่เตรียมไว้บริเวณใกล้เคียงอาคารเตาเผามูลฝอย นอกจากการนำเถ้าลอยไปฝังกลบแล้ว ยังพบว่า มีการนำเถ้าหนักที่ไม่ใช่โลหะไปใช้ทำเป็นวัสดุปูพื้นอีกด้วย (เทศบาลเมืองภูเก็ต, 2545)

ส่วนเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนนี้ แม้ว่ามีปริมาณน้อยกว่าเถ้าหนัก แต่ยังไม่พบรายงานการศึกษาว่ามีการนำไปใช้ประโยชน์ในประเทศไทย มีเพียงแต่การศึกษาในส่วนของลักษณะทางเคมี กายภาพ และการชะล้างได้ของสารพิษจากเถ้า ซึ่งเถ้าลอยชนิดนี้ มีปริมาณสารพิษตกค้างต่ำกว่าข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) (PC Montenay, 2002) ซึ่งคาดว่าจะนำมาใช้ประโยชน์ได้โดยผ่านกระบวนการบำบัดสารพิษตกค้างด้วยการทำให้เสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ (Keats, 1994) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการของเสียอันตราย (Wiles, 1989)

นอกจากนี้จากการศึกษาของ พจณีย์ อินทสโร (2545) พบว่า เถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนนี้มีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายปูนซีเมนต์ แต่ไม่มีคุณสมบัติของซีเมนต์และไม่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) แต่สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนได้ เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ได้ประมาณ 15% โดยน้ำหนัก แต่จะทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอยลดลง ระยะเวลาก่อตัวและความต้องการน้ำเพิ่มขึ้น (พจณีย์ อินทสโร, 2545) เถ้าลอยชนิดนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานโครงสร้าง งานคอนกรีตโครงสร้างรับแรงได้ เช่น คอนกรีตเสริมเหล็ก แต่เหมาะที่จะนำไปทำเป็นกำแพง ก้อนเมโซรี เป็นต้น (พิภพ สุนทรสมัย, 2543) แต่เนื่องด้วยลักษณะของอนุภาคเถ้าลอยที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดและเกิดปฏิกิริยาต่ำ อีกทั้งมีปริมาณสารพิษตกค้างและสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable Substances) ต่ำกว่าข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) จากลักษณะดังที่กล่าวมาสามารถจัดเถ้าลอยชนิดนี้เป็นสารผสมเพิ่ม ประเภทสารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixture)

(ภควัฒน์ แสนเจริญ, 2546) ในกลุ่มวัสดุเฉื่อย (Inert) ได้ ซึ่งจะช่วยปรับส่วนคละของวัสดุผสมให้ดีขึ้น อาจเรียกส่วนผสมนี้ว่า วัสดุผสมเพิ่ม (วินิต ช่อวิเชียร, 2544) โดยเฉพาะในคอนกรีตที่ขาดอนุภาคขนาดเล็ก เช่น คอนกรีตที่ทำจากทรายหยาบ ซึ่งสารผสมเพิ่มกลุ่มนี้จะช่วยปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงเท่านั้น (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2536)

การนำเถ้าลอยซึ่งเป็นของเสียมาใช้ประโยชน์ใหม่นี้ จะทำโดย การนำเถ้าลอยมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อนำมาทำเป็นก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hollow Non - Load - Bearing Concrete Masonry Units) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 58 - 2530) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า คอนกรีตบล็อกผนัง เนื่องจากคอนกรีตบล็อกชนิดนี้ใช้ในการทำผนังหรือกำแพงที่ออกแบบให้ไม่รับน้ำหนักบรรทุกใด ๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง โดยในงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นการนำเถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนมาใช้ในการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ และเป็นการนำเถ้าลอยมาใช้ให้เกิดประโยชน์รวมทั้งเป็นการลดการใช้พื้นที่ฝังกลบของเทศบาลเมืองภูเก็ตหรือขยายอายุการใช้งานของพื้นที่ฝังกลบ ที่รองรับปริมาณเถ้าได้ประมาณ 20 ปี (เทศบาลเมืองภูเก็ต, 2545)

การตรวจเอกสาร

เถ้าลอย ตามความหมายของ ASTM C618 – 98 หมายถึง กากเถ้าละเอียดที่เหลือจากการเผาไหม้ผงหรือกากตะกอนของถ่านหิน โดยไม่รวมถึงเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้มูลฝอยชุมชน และมูลฝอยอุตสาหกรรม (ASTM C618 – 98, 1998) ดังนั้นจึงเป็นความหมายที่เข้าใจตรงกันว่า เมื่อกล่าวถึง Fly Ash จะหมายถึง เถ้าลอย (Fly Ash) คือ เถ้าถ่านหิน (Pulverized Fuel Ash)
(ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, สุรเชษฐ์ จึงเกษมโชค และ วราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2543)

แต่สำหรับงานวิจัยนี้ เถ้า (Ash) หมายถึง เถ้าเตาเผา ดังนั้น เถ้าเตาเผา (Incinerator Ash) หมายถึง เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้มูลฝอยชุมชน เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้มูลฝอยอุตสาหกรรมหรือมูลฝอยชุมชนในเตาเผามูลฝอย รวมถึงเถ้าที่เกิดจากการพ่นปูนขาวเข้าไปในหม้อน้ำโดยตรงเพื่อขับซัลเฟอร์ออก (ASTM C618 – 98, 1998)

ดังนั้นเถ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงเป็นเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้มูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต (Phuket Incinerator Plant) ซึ่งแบ่งเถ้าออกเป็น 2 ประเภท คือ เถ้าลอย (Fly Ash) และเถ้าหนัก (Bottom Ash) เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจะใช้คำว่า เถ้าลอย (Fly Ash) แทนคำว่า เถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต ตลอดงานวิจัยในครั้งนี้

เถ้าที่เกิดจากระบบกำจัดมูลฝอยแบบเตาเทศบาลเมืองภูเก็ต ได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash) ซึ่งเกิดจากระบบกำจัดมูลฝอยชนิดนี้ มีอนุภาคขนาดเล็ก เป็นผงละเอียดคล้ายปูนซีเมนต์ ซึ่งจะถูกดักไว้

ด้วยอุปกรณ์กรองฝุ่นชนิดถุง (Bag Filter) ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ และจะนำเถ้าไปฝังกลบในหลุมฝังกลบ

เถ้าหนัก (Bottom Ash) จะมีอนุภาคขนาดใหญ่ เกิดจากมูลฝอยที่เผาไหม้ไม่ได้ เช่น โลหะ แก้ว เศษอิฐ หิน ดิน ซึ่งถูกปล่อยออกมาจากระบบเผาไหม้และถูกทำให้เย็นลงด้วยน้ำในช่องระบายเถ้า เถ้าจะถูกระบายลงสู่บ่อพักเถ้า จากนั้นใช้เครนขนถ่ายสู่รถบรรทุก และนำไปฝังกลบ (เทศบาลเมืองภูเก็ต, 2545)

การกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีการเผาที่อุณหภูมิสูงนี้ เป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้กำจัดมูลฝอย เพื่อลดปริมาณมูลฝอยที่จะต้องถูกส่งไปยังหลุมฝังกลบ ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงระบบกำจัดมูลฝอยโดยสังเขปเพื่อประกอบความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการทำงานของเตาเผาและลักษณะของเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ ดังแสดงในตาราง 1

ถึงแม้ว่าวิธีการเผาจะช่วยลดปริมาณมูลฝอยลงได้ แต่ก็ยังคงเหลือเถ้าที่รอการกำจัดต่อไป ซึ่งในขั้นสุดท้ายของการกำจัดเถ้า คือ การนำไปฝังกลบ

ในต่างประเทศ พบว่า มีวิธีการจัดการเถ้าเตาเผามูลฝอยชุมชนที่เหลือจากการเผาไหม้เหล่านี้ ซึ่งนอกเหนือไปจากการนำไปฝังกลบแล้ว โดยการนำเถ้าไปใช้ประโยชน์ซึ่งจะเป็นการช่วยลดปริมาณเถ้าที่จะนำไปฝังกลบได้อีกทาง เช่น การนำเถ้าหนักจากเตาเผามูลฝอยชุมชนไปใช้ทำถนน (Izquierdo, *et al.,* n.d.) การนำเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนไปใช้เป็นวัตถุดิบในงานก่อสร้าง เช่น ผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ คอนกรีต เซรามิค แก้ว แก้ว - เซรามิค ใช้ในงาน Asphalt Concrete (Alba, *et al.,* 2001) ใช้ในงานเทคนิคทางธรณีวิทยา เช่น ปูพื้นถนน ตลิ่งทาง เขื่อน ทางเกษตรกรรม เช่น เป็นวัตถุปรับปรุงดิน อื่น ๆ เช่น เป็นตัวดูดซับ (Ferreira, Ribeiro and Ottosen, 2002) นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงความเป็นไปได้ในการที่จะใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมละเอียดในงานคอนกรีตและใช้เป็นวัสดุที่อัดผสมใน Asphalt (Alba, *et al.,* 2001)

ตาราง 1 ข้อมูลโดยสังเขปของระบบกำจัดมูลฝอยแบบเตาเผาเทศบาลเมืองภูเก็ต

ข้อมูลสังเขปของระบบกำจัดมูลฝอยแบบเตาเผาเทศบาลเมืองภูเก็ต (ก่อสร้างเสร็จเมื่อ 28 พฤษภาคม 2541)	
สถานที่ตั้ง	หมู่ 1 ถนนรัตนโกสินทร์ 200 ปี ต.วิชิต อ.เมือง จ.ภูเก็ต 83000 ประเทศไทย
พื้นที่ทั้งหมด และลักษณะอาคาร	มีพื้นที่ 43,000 ตารางเมตร เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก/โครงสร้างเหล็ก
ลักษณะเตาเผา	ประเภทตะกรับ แบบเผาไหม้ต่อเนื่อง อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ระหว่าง 800 – 900 องศาเซลเซียส
กำลังการเผา	250 ตัน/วัน (1 เตาเผา) พร้อมพื้นที่การติดตั้งเตาที่ 2
ระบบบำบัดก๊าซจากการเผาไหม้	ระบบบำบัดก๊าซเป็นระบบแห้งพร้อมเครื่องดักฝุ่นแบบถุงกรอง
คุณลักษณะเฉพาะของมูลฝอย	**ลักษณะของมูลฝอยที่สามารถนำเข้าเผาได้** - เป็นมูลฝอยที่สามารถติดไฟได้และมีขนาดความยาวด้านใดด้านหนึ่งไม่เกิน 50 ซม. **ลักษณะของมูลฝอยที่ห้ามนำเข้า** - มูลฝอยที่เป็นวัสดุที่ระเบิดได้ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อะไหล่มอเตอร์ไซด์ ยางรถยนต์ทุกชนิดและของเสียอันตรายจากโรงพยาบาล
อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบควบคุมมลพิษเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการออกแบบและผ่านการพิสูจน์แล้วว่ามีขีดความสามารถสูงในด้านป้องกันมลภาวะ	**1. โรงเผามูลฝอย** ได้รับการติดตั้งระบบควบคุมมลพิษทางอากาศแบบแห้งประสิทธิภาพสูง ทำงานโดยการพ่นปูนขาวในสภาพที่เป็นผง (Slake Lime) เข้าไปในท่อลม ซึ่งนำก๊าซจากการเผาไหม้ผ่านออกมาจากระบบลดอุณหภูมิเพื่อทำปฏิกิริยากับ SO_2 และ HCl กลายเป็นผงของ $CaCl_2$ และ $CaSO_3$ ซึ่งจะถูกกรองออกจากก๊าซอากาศพร้อม ๆ กับเถ้าลอย (Fly Ash) ด้วยเครื่องดักฝุ่นและก๊าซอันตรายชนิดถุงกรอง (Bag Filter) ซึ่งเป็นระบบ Pulse Jet ปริมาณของ HCl, SO_x และ NO_x ในปล่องควันได้รับการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง **2.น้ำเสียจากโรงเผามูลฝอย** ได้รับการบำบัดขั้นต้นด้วยระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงาน ก่อนส่งไปยังโรงบำบัดน้ำเสียของเทศบาลเมืองภูเก็ต **3.ระบบควบคุมกลิ่น** การควบคุมกลิ่นจะออกแบบให้อากาศไหลผ่านจากภายนอกอาคารเตาเผาเข้าสู่ภายในอาคารในทางเดียว โดยติดตั้งท่อดูดอากาศเพื่อป้อนเข้าสู่เตาเผา เมื่อพัดลมดูดอากาศทำงานอากาศจากบริเวณดังกล่าวจะถูกดูดเข้าห้องเผาไหม้ กลิ่นจะถูกทำลายด้วยความร้อนในเตาเผาและภายในอาคารจะมีความดันอากาศน้อยกว่าภายนอก ดังนั้นอากาศภายนอกจะไหลเข้าสู่อาคาร อากาศภายในอาคารไม่สามารถไหลออกนอกอาคารได้ จึงทำให้สามารถควบคุมกลิ่นได้ **4.ระบบควบคุมเสียง** ใช้มาตรการควบคุมเสียงโดยกำหนดให้ระดับเสียงจากระบบเตาเผามูลฝอยที่แนวเขตซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 65 เดซิเบล เอ ในช่วงเวลากลางวัน และ 60 เดซิเบล เอ ในช่วงเวลากลางคืน

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบควบคุมมลพิษเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการออกแบบและผ่านการพิสูจน์แล้วว่ามีขีดความสามารถสูงในด้านการป้องกันมลภาวะ	**5. ระบบกำจัดขี้เถ้า** เถ้าลอย (Fly Ash) ซึ่งถูกดักไว้ด้วยเครื่องดักฝุ่น (Bag Filter) ถูกนำไปฝังกลบ ซึ่งหลุมฝังกลบปูด้วยพลาสติกชนิด High Density Polyethylene (HDPE) เพื่อป้องกันน้ำรั่วซึมออกจากหลุมฝังกลบ ส่วนเถ้าหนัก (Bottom Ash) จะถูกนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบที่เตรียมไว้ สำหรับถ้าหนักจากการศึกษาและการใช้ประโยชน์จากเถ้าในต่างประเทศ พบว่า เถ้าหนักที่ได้จากการเผาไหม้มูลฝอยชุมชนสามารถนำไปใช้ประโยชน์บางอย่างได้ เช่น ทำเป็นวัสดุปูพื้น นอกจากนี้ทางเทศบาลเมืองภูเก็ตยังมีแผนงานที่จะลดปริมาณโลหะและแก้วออกจากเถ้าโดยสร้างระบบคัดแยกโลหะภายในโรงงานเพิ่มเติมในปี พ.ศ. 2545 และสร้างโรงคัดแยกมูลฝอยก่อนเผา ในปี พ.ศ. 2544

ที่มา : ดัดแปลงจาก เทศบาลเมืองภูเก็ต, 2545

ในประเทศไทยยังไม่พบรายงานว่ามีการนำเถ้าจากเตาเผามูลฝอยทั้งในส่วนของมูลฝอยชุมชนและมูลฝอยอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง พบเพียงแต่ในลักษณะของงานวิจัย ส่วนเถ้าชนิดอื่น ๆ ที่พบส่วนใหญ่เป็นการนำเถ้าชนิดนั้น ๆ มาวิจัยในลักษณะการทำเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน เช่น เถ้าจากกากตะกอนน้ำมันเตา เถ้าแกลบ เถ้าถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่พบแต่การนำเถ้าลอยถ่านหินมาใช้ประโยชน์ (ภควัฒน์ แสนเจริญ, 2546) เช่น การนำเถ้าลอยถ่านหินลิกไนต์ซึ่งเหลือจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปางไปใช้ประโยชน์ โดยนำเถ้าลอยถ่านหินลิกไนต์นี้ไปผลิตเป็นบล็อกปูถนนราคาถูก (บุรฉัตร ฉัตรวีระ, พิชัย นิมิตยงสกุล และ สุกัญญา นุตาลัย, 2540) และการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุก่อสร้างงานดิน (สมชัย กกกำแหง, 2540) รวมถึงการวิจัยเถ้าลอยถ่านหินลิกไนต์เพื่อการใช้ประโยชน์อีกมากมาย เช่น การใช้เถ้าถ่านหินแยกขนาดจากแม่เมาะในงานคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้เถ้าถ่านหินที่คัดขนาดแล้ว ซึ่งเลือกเถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดสูงมาแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อทำคอนกรีตกำลังสูง โดยทำเป็นคอนกรีตทรงกระบอก จากนั้นทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังดึง ผลการทดสอบ พบว่า เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 15%, 25% และ 35% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์แล้ว ทำให้กำลังรับแรงอัดโดยรวมดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าถ่านหิน ส่วนกำลังดึงของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินและไม่ใช้เถ้าถ่านหิน มีค่าไม่แตกต่างกัน (ทิน เกตุรัตนบวร, ชัย จาตุรพิทักษ์ และ เอกภพ อังศุวัฒนา, 2541)

นอกจากเถ้าลอยถ่านหินลิกไนต์แล้วยังมีการนำเถ้าลอยจากการเผาไหม้น้ำมันเตา (Oil Ash) ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนบางปะกงมาวิจัยเพื่อนำเถ้าลอยมาเป็นเชื้อเพลิง (บุญดวน สายสุวรรณ, 2541)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำเถ้าเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตซึ่งเป็นของเสียมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยที่เถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนนี้สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนได้ (พจณีย์ อินทสโร, 2545) ส่วนเถ้าหนักไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากมีวัสดุที่เผา

ไหม้ไม่ได้ เช่น โลหะ แก้ว ปะปนอยู่ เป็นต้น ซึ่งเป็นอุปสรรคในการนำไปใช้งาน ถ้าจะนำไปใช้จะต้องเป็นเถ้าหนักที่ไม่มีโลหะปะปนอยู่ โดยนำไปทำเป็นวัสดุปูพื้น

โดยในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะนำข้อมูลทางเคมี ทางกายภาพ ทางแร่วิทยา และ ความสามารถของเถ้าลอยที่นำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนได้ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปใช้งาน นอกจากนี้ยังต้องใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ มาเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบในการทำวิจัย ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเทคโนโลยี รวมไปถึงรูปแบบการนำเถ้าลอยชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์ในแบบอื่น ๆ เพิ่มเติมที่คาดว่าจะสามารถนำไปใช้ได้จริงในอนาคตให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น ซึ่งในต่างประเทศก็มีการวิจัยเกี่ยวกับการนำเถ้าลอยชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์ในแนวทางเดียวกันนี้เช่นกัน

จากคุณสมบัติของเถ้าลอยที่สามารถนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้นี้ จึงนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ด้วยการนำมาใช้เป็นส่วนผสมหนึ่งในงานคอนกรีต ซึ่งเป็นการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตมาทำเป็นคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

แต่การที่จะนำเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนไปนำไปใช้ประโยชน์หรือกำจัดได้นั้นจะต้องทราบถึงประเภทและลักษณะของมูลฝอยก่อนเข้าเผา ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี ส่วนประกอบทางแร่ของเถ้าหลังการเผาไหม้ นอกจากนี้จะรวมถึงคุณสมบัติของการเป็นของเสียอันตราย การชะล้างได้ของสารในเถ้า ฯลฯ เพื่อที่จะทราบถึงวิธีการนำไปใช้ประโยชน์ หรือกำจัดที่ถูกต้องต่อไป

จากการศึกษาคุณลักษณะของเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต ด้วยการทดสอบหาขนาดคละของอนุภาคเถ้าลอย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาส่วนคละของวัสดุผสมละเอียดและหยาบ โดย พจณีย์ อินทสโร (2545) พบว่า เถ้าลอยที่ไม่ได้ผ่านการร่อนด้วยตะแกรง มีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายปูนซีเมนต์ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย ($d_{50\%}$) 1,000 ไมครอน (1 มม.) ซึ่งอนุภาคนี้หยาบกว่าอนุภาคของปูนซีเมนต์ และเมื่อร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 พบว่า มีขนาดของอนุภาคอยู่ที่ระหว่าง 30 – 80 ไมครอน

หลังจากถ่ายภาพด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) แล้ว พบว่า พื้นที่ผิวของอนุภาคขรุขระ เป็นเหลี่ยมบิดเบี้ยวและมีรูพรุน ซึ่งเกือบจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของวัสดุผสมเบา (Lightweight Aggregate) ที่คาดว่าจะใช้ทดแทนวัสดุผสมละเอียดได้บางส่วนในงานคอนกรีต

องค์ประกอบทางเคมีอยู่ในรูปของออกไซด์ ส่วนใหญ่เป็น CaO หรือ ปูนขาว (Lime) เนื่องจากการตกค้างในระบบควบคุมมลพิษทางอากาศในเตาเผา ส่วน Alkali (Na_2O และ K_2O), Cl และ SO_3 มีความเข้มข้นสูง

จากการศึกษาของ ภควัฒน์ แสนเจริญ (2546) โดยการนำเถ้าลอยมาล้างด้วยน้ำ ซึ่งในน้ำที่ผ่านการล้างเถ้าลอยนี้ พบว่า มีการละลายของ NaCl และ KCl อยู่ นอกจากนี้ยังพบว่า มีปริมาณของ Na_2O, K_2O และ Cl ในเถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ ต่ำกว่าเถ้าลอยที่ไม่ได้ผ่านการล้างน้ำ และในขณะเดียวกัน พบว่า มีสารที่ไม่ละลายน้ำในเถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำส่วนหนึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น ได้แก่ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 และในส่วนของการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในเถ้าโดยบริษัท SGS (Thailand) Ltd. พบว่า มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ซึ่งแสดงไว้ในตาราง 2

ตาราง 2 ปริมาณโลหะหนักในเถ้าจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต ซึ่งวิเคราะห์โดย บริษัท SGS (Thailand) Ltd. เมื่อเดือนเมษายน พ.ศ. 2545

พารามิเตอร์	หน่วย	ผล		ค่ามาตรฐาน
		เถ้าหนัก	**เถ้าลอย**	
สารหนู (ทั้งหมด)	มก./ล	< 0.01	**<0.01**	5.00
แคดเมียม (ทั้งหมด)	มก./ล	<0.01	**<0.01**	1.00
โครเมียม (ทั้งหมด)	มก./ล	<0.02	**<0.02**	5.00
ตะกั่ว (ทั้งหมด)	มก./ล	<0.05	**<0.05**	5.00
ปรอท (ทั้งหมด)	มก./ล	<0.001	**<0.001**	0.20
ซีลีเนียม (ทั้งหมด)	มก./ล	<0.01	**<0.01**	1.00
เงิน	มก./ล	<0.01	**0.01**	5.00

ที่มา : ดัดแปลงจาก บริษัท SGS, 2545 (PC - Montenay, 2545)

หมายเหตุ : บริษัท PC - Montenay จำกัด เป็นผู้ดำเนินการจัดส่งเถ้าไปวิเคราะห์ยัง บริษัท SGS (Thailand) Ltd.

วิเคราะห์ตามข้อกำหนดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

ในส่วนขององค์ประกอบทางแร่วิทยาประกอบด้วยผลึกแร่ของ KCl (Sylvite), NaCl (Halite), $CaCO_3$ (Calcite), $Ca(OH)_2$ (Calcium hydroxide), $CaSO_4$ (Anhydrite), CaCl (Calcium chloride), CaClOH (Calcium chloride hydroxide), $CaSO_4 2H_2O$ (Calcium Sulfate Hydrate) และ $K_{86.5}Al_{86.5}Si_{105.5}O_{384}$ (Potassium Aluminum Silicate) (พจณีย์ อินทสโร, 2545)

จากการศึกษาของพจณีย์ อินทสโร (2545) และ ภควัฒน์ แสนเจริญ (2546) พบว่า เถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนนี้ไม่มีคุณสมบัติของซีเมนต์และไม่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุ Pozzolanic ใน Class F และ Class C ตามมาตรฐาน ASTM C618 – 98 เนื่องจากมีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์ และ อลูมินาออกไซด์ ใน Class F และใน Class C น้อยกว่าร้อยละ 70 และ 50 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ASTM C618 – 98, 1998) ดังแสดงในตาราง 3 ซึ่งแสดงองค์ประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM C618 โดยใช้ผลรวมของปริมาณออกไซด์ของซิลิกา อลูมินาออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ใน Class F และ Class C ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของเถ้าลอยถ่านหินเปรียบเทียบกับเถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต

โดยที่ **สารปอซโซลาน (Pozzolan)** คือ สารซิลิกา หรือ ซิลิกา และอลูมินาที่ละเอียด ที่จะมีส่วนประกอบหลัก คือ SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 และ CaO (สมชัย กกกำแหง, 2539) เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่น ไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ และเกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementitious) (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, สุรเชษฐ์ จึงเกษมโชคชัย และ วราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2542) แล้วก่อตัวเป็นวัตถุที่มีคุณสมบัติซีเมนต์ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ธวัชชัย ไชยเสนา, 2536) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ สารปอซโซลานธรรมชาติ (Natural Pozzolan) เป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใด ๆและสารปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzolan) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้มาจากการปรับปรุงคุณภาพและ/หรือองค์ประกอบทางเคมีก่อนนำมาใช้งาน (พิชัย นิมิตยงสกุล และ สรรค์ สยามิภักดิ์, 2543) สารปอซโซลานที่มีอยู่ในประเทศไทยค่อนข้างมาก ได้แก่ ขี้เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) และเถ้าลอยถ่านหิน (Fly Ash)

ประเภทของเถ้าลอยถ่านหินถูกแบ่งออกเป็น 2 Class ตามมาตรฐาน ASTM C618 – 98 ได้แก่ Class F และ Class C โดยใช้องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยที่ได้หลังจากการเผาถ่านหิน

เถ้าลอยถ่านหิน Class F เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์ และอลูมินาออกไซด์ มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินประเภทบิทูมินัส และแอนทราไซท์ ดังนั้นเถ้าลอยประเภทนี้เรียกว่า Low – calcium Fly Ash หมายถึง เถ้าลอยที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นซีเมนต์อยู่น้อย หรือ แทบจะไม่มี

เถ้าลอยถ่านหิน Class C เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์ และอลูมินาออกไซด์ อยู่ระหว่างร้อยละ 50 - 70 โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินประเภทลิกไนต์ และซับบิทูมินัส ดังนั้นเถ้าลอยประเภทนี้เรียกว่า High – calcium Fly Ash ซึ่งมีคุณสมบัติของซีเมนต์และปอซโซลานในตัวเอง (ASTM C618 – 98, 1998)

ตาราง 3 เปรียบเทียบข้อกำหนดทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM C618 กับเถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต และเถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ

Chemical Composition	ASTM C618		MSWIFA[1]	WMSWIFA[2]
	Class F	Class C		
ผลรวมของปริมาณซิลิกาออกไซด์ อลูมินาออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$), min %	70.00	50.00	7.21	14.68
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3), max %	5.00	5.00	6.23	7.93
ปริมาณความชื้น, max %	3.00	3.00	1.35	0.44
น้ำหนักที่สูญหายเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition LOI), max %	6.00	6.00	9.74	17.33
อัลคาไลน์ในรูปของโซเดียมไดออกไซด์ (Na_2O), max %	1.50	1.50	11.13	1.96

ที่มา : ดัดแปลงจาก [1]พจณีย์ อินทสโร, 2545 และ [2]ภควัฒน์ แสนเจริญ, 2546

MSWIFA[1] คือ เถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต

WMSWIFA[2] คือ เถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ

นอกจากนี้ในส่วนของการศึกษาจาก พจณีย์ อินทสโร (2545) โดยการนำเถ้าลอยที่ได้มาผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แล้วทำการทดสอบความข้นเหลวของคอนกรีต (Normal Consistency) และระยะเวลาการก่อตัว (Setting Time) ของก้อนซีเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอย พบว่า มีความต้องการปริมาณน้ำมากขึ้นและระยะเวลาในการก่อตัวของก้อนซีเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอยนานขึ้น เมื่อปริมาณของเถ้าลอยมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเถ้าลอยนั้นมีพื้นที่ผิวขรุขระและเป็นเหลี่ยมบิดเบี้ยว ส่งผลให้มีความต้องการปริมาณน้ำและระยะเวลาการก่อตัวสูงขึ้นด้วย

จากการศึกษาของ พจณีย์ อินทสโร (2545) และ ภควัฒน์ แสนเจริญ (2546) ซึ่งได้ทำการทดสอบกำลังอัดของก้อนซีเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอยและก้อนคอนกรีตผสมเถ้าลอยนี้ตามลำดับ

โดยในส่วนของ พจณีย์ อินทสโร มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่ 0.00%, 10.00%, 15.00% และ 25.00% โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการศึกษา พบว่า กำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์มอร์ตาผสมเถ้าลอยจะลดลงเรื่อย ๆ เถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตนี้ สามารถนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมได้ถึง 15.00% โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ประมาณ 90.00% เมื่อเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าธรรมดา

ในส่วนของภควัฒน์ แสนเจริญ มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่ 0.00%, 10.00%, 15.00% และ 25.00% และเถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำที่ 15.00%โดยน้ำหนัก พบว่า กำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยลดลงเรื่อย ๆ และให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน (310 กก./ตร.ซม.) ซึ่งใช้เถ้าลอยที่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมได้ถึง 10.00% โดยน้ำหนัก

ส่วนก้อนคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่ผ่านการล้างน้ำ พบว่า มีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าก้อนคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าลอยตลอดระยะการบ่มที่นานขึ้น และยังต่ำกว่าทุกอายุการบ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่ 15.00% โดยน้ำหนัก ซึ่งตรงกันข้ามกับ เมื่อใช้เถ้าลอยของถ่านหินผสมในคอนกรีต โดยกำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยถ่านหินจะสูงกว่าก้อนคอนกรีตที่ไม่ผสมด้วยเถ้าลอยถ่านหิน เมื่อระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น

จากการทดสอบหาสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable Substances) ของ พจณีย์ อินทสโร (2545) โดยเฉพาะปริมาณโลหะหนักจากเถ้าลอย และก้อนซีเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอย พบว่า มีค่าต่ำกว่าข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ซึ่งแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ถูกชะล้างได้จากเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนและจากก้อนซีเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต

ธาตุ	ค่ามาตรฐาน (มก./ล)	ปริมาณความเข้มข้น (มก./ล)					
		เถ้าหนัก[1]	เถ้าลอย	F00[2]	F10[3]	F15[4]	F25[5]
Ag	5.000	<0.02	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
As	5.000	<0.04	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
Ba	100.000	-	1.273	0.393	0.387	0.431	0.433
Cd	1.000	0.02	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Cr	5.000	0.03	0.062	0.060	0.076	0.058	0.049
Hg	2.000	<0.0005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Pb	5.000	0.16	1.369	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
Se	1.000	<0.0005	<0.080	<0.080	<0.080	<0.080	<0.080

ที่มา : ดัดแปลงจาก พจณีย์ อินทสโร, 2545

[1]ผลการวิเคราะห์เถ้าหนัก โดยบริษัท พีซี – มอนทีเนย์ จำกัด, 2544

F00[2] คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 0.00%

F10[3] คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 10.00%

F15[4] คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 15.00%

F25[5] คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 25.00%

ในส่วนของ ภควัฒน์ แสนเจริญ (2546) ที่ได้ทดสอบหาสารที่ถูกชะล้างได้ โดยเฉพาะปริมาณโลหะหนักจากเถ้าลอย เถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ ก้อนคอนกรีตผสมเถ้าลอย และก้อนคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ พบว่า มีค่าต่ำกว่าข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) เช่นกัน ดังแสดงในตาราง 5 เพราะฉะนั้นเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตนี้ จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในงานคอนกรีตได้ เนื่องจากปริมาณของสารที่ถูกชะล้างได้เป็นที่ยอมรับตามข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ตาราง 5 ปริมาณความเข้มข้นของสารที่ถูกชะล้างได้จากเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ต เถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ ก้อนคอนกรีตผสมเถ้าลอย และก้อนคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ

ธาตุ	ค่ามาตรฐาน (มก./ล)	ปริมาณความเข้มข้น (มก./ล)						
		F00[1]	F10[2]	F15[3]	F25[4]	WF15[5]	MSWIFA[6]	WMSWIFA[7]
Ag	5.000	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007
As	5.000	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100
Ba	100.000	0.267	0.233	0.244	0.367	0.300	0.965	0.322
Cd	1.000	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Cr	5.000	0.069	0.064	0.052	0.034	0.053	0.062	0.043
Hg	2.000	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Pb	5.000	<0.050	0.078	<0.050	0.067	<0.050	3.344	2.033
Se	1.000	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100	<0.100

ที่มา : ดัดแปลงจาก ภควัฒน์ แสนเจริญ, 2546

F00[1] คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 0.00%

F10[2] คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 10.00%

F15[3] คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 15.00%

F25[4] คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 25.00%

WF15[5] คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ 15.00%

MSWIFA[6] คือ เถ้าลอย

WMSWIFA[7] คือ เถ้าลอยที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ

ส่วนในเรื่องของสารไดออกซิน (Dioxin) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้มูลฝอยชุมชนที่จะตกค้างในเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนยังไม่มีรายงานเป็นค่ามาตรฐานในประเทศไทย แต่พบใน U.S. EPA Regulations for Dioxin in MSWI Ash (Mckay, 2001) ในประเทศไทยพบแต่เพียงค่ามาตรฐานไดออกซินในบรรยากาศ ซึ่งทางกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดค่ามาตรฐานไดออกซินตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มิถุนายน พ.ศ. 2540 เรื่องการกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอยโดยใช้การรายงานค่าปริมาณสารไดออกซินในหน่วยความเข้มข้นรวมของสารกลุ่มโพลีคลอริเนตเตท ไดเบนโซ พี ไดออกซิน และฟูแรน (Total PCDD/F Concentration) เท่านั้น (กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, กรมควบคุมมลพิษ, 2546) โดยค่ามาตรฐานจากเตาเผาอุณหภูมิสูงต่าง ๆ ของประเทศไทยอยู่ที่ 30 ng.total/Nm^3 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากเตาเผามูลฝอยชุมชนขนาดตั้งแต่ 1 ตัน/วันขึ้นไป
(กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ถึงแม้ว่าสารไดออกซินจะเป็นภัยร้ายแรงต่อชีวิตมนุษย์และสัตว์ และจัดเป็นกลุ่มของสารเคมีที่มนุษย์เป็นผู้ผลิต จากรายงานการศึกษาของหน่วยงานสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ถึงสารไดออกซินว่าสามารถก่อให้เกิดมะเร็ง และมีผลต่อการเจริญพันธุ์และระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย รวมถึงรบกวนการสร้างฮอร์โมนต่าง ๆ ของมนุษย์ นอกจากนี้รายงานยังแจ้งว่า ไม่ปรากฏระดับปริมาณที่ยอมรับว่าปลอดภัยของการรับสารไดออกซิน (กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ในส่วนของการได้รับสัมผัสสารชนิดนี้ของมนุษย์จะได้มาจากอาหารซึ่งเป็นแหล่งที่สำคัญมากกว่าการถูกดูดซึมทางผิวหนัง การสูดอากาศที่มีเศษขี้เถ้าและฝุ่นที่มีสารปนเปื้อนร่างกายก็สามารถรับสารชนิดนี้ได้เหมือนกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยตระหนักถึงปัญหานี้ดี แต่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการนำมาใช้ในการทดลองได้ ทำได้ดีที่สุดเพียงการนำมาใช้อย่างระมัดระวังในระหว่างทำการทดลอง โดยใส่ถุงมือป้องกันการสัมผัสเถ้าโดยตรง และใส่หน้ากากป้องกันผงเถ้าลอยเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ

อีกทั้งในการนำเถ้าลอยชนิดนี้ไปแทนที่ปูนซีเมนต์นั้นเป็นการใช้ในปริมาณน้อย เพื่อให้สอดคล้องกับคุณสมบัติของเถ้าลอยเมื่อมานำใช้ในงานคอนกรีต นอกจากนี้ยังให้เหมาะสมกับการออกแบบการทดลองและการทดสอบคุณสมบัติในทางคอนกรีต อีกทั้งงานวิจัยนี้มุ่งประเด็นในการใช้เถ้าลอยในทางคอนกรีตมากกว่าประเด็นอื่น ๆ

จากการตรวจเอกสารพบว่าจากคุณสมบัติของเถ้าลอยที่ได้กล่าวมาข้างต้น อันไม่รวมถึงคุณสมบัติของสารไดออกซิน สามารถจัดกลุ่มของเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนเป็นสารผสมเพิ่ม (Admixtures) ประเภทสารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixture) ในงานคอนกรีต
(ภควัฒน์ แสนเจริญ, 2546) ซึ่งอยู่ในกลุ่มของวัสดุเฉื่อย (Inert) (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2536 และ

วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

สารผสมเพิ่ม (Admixtures) หมายถึง สารใด ๆ ก็ตามที่นอกเหนือไปจาก น้ำ ปูนซีเมนต์ และวัสดุผสม ที่ใช้เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีตไม่ว่าจะก่อนหรือกำลังผสม เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพคอนกรีตขณะยังเหลวหรือคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพของวัสดุ สิ่งแวดล้อม และสภาพการทำงาน (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2536) แม้ว่าเถ้าลอยเตาเผามูลฝอยชุมชนจะไม่เป็นวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C618 ก็ตามแต่ เนื่องจากเป็นวัสดุผงละเอียดจนเกือบจัดอยู่ในเกณฑ์ของการเป็นวัสดุผสมเบา (Lightweight Aggregate) ซึ่งสามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ได้บางส่วน ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ต่ำ จึงจัดเถ้าลอยชนิดนี้เป็นสารผสมเพิ่ม ประเภทสารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixture) ในกลุ่มวัสดุเฉื่อย (Inert) ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เนื่องจากสารผสมเพิ่มประเภทนี้ใช้ในปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยอาจเรียกส่วนผสมนี้ว่า วัสดุผสมเพิ่ม เนื่องจากใช้ช่วยปรับส่วนคละของวัสดุผสมให้ดีขึ้น โดยเฉพาะเป็นวัสดุผสมร่วมกับทรายในงานคอนกรีต (Ferreira, Ribeiro and Ottosen, 2002) และยังช่วยลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลงได้บางส่วน สารผสมนี้อาจทำหรือไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับซีเมนต์เพสต์ สารผสมเหล่านี้ ได้แก่ วัสดุแร่ธาตุเฉื่อย ซิลิกาฟูม วัสดุปอซโซลาน (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

สารผสมเพิ่มประเภทนี้เป็นวัสดุที่มีความไวต่อปฏิกิริยาต่ำ หรือ วัสดุเฉื่อย (Inert) ใช้เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตเหลว โดยเฉพาะในคอนกรีตที่ขาดอนุภาคขนาดเล็ก เช่น คอนกรีตทำจากทรายหยาบ หรือที่มีปริมาณซีเมนต์อยู่น้อย คอนกรีตแบบนี้อาจแยกตัวได้ง่าย ไม่เหมาะสำหรับการลำเลียงและเทลงแบบ การปรับปรุงการเกาะตัวและความเหลวของคอนกรีตนี้ด้วยการเพิ่มปริมาณซีเมนต์อาจทำไม่ได้ เพราะ เหตุผลทางด้านราคา หรือทางเทคนิค เช่น ทำให้เกิดความร้อนอย่างมากในคอนกรีตเหลว วิธีการที่ทำได้ คือ การใส่แร่ธาตุ เช่น ผงหินฝุ่น หินเขี้ยวหนุมาน เศษหิน ลงผสมคอนกรีต ซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้มีความไวต่อปฏิกิริยาต่ำ ไม่มีคุณสมบัติในการเป็นตัวเชื่อมโยง เหมาะสำหรับการปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงเท่านั้น (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2536)

ถึงแม้ว่าเถ้าลอยชนิดนี้จะเกิดปฏิกิริยาต่ำในงานคอนกรีต สามารถนำไปใช้งานได้ แต่ควรใช้อย่างระมัดระวัง เพราะเถ้าลอยจัดอยู่ในประเภทของเสียอันตราย เนื่องจากมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก

ของเสียอันตราย (Hazardous Waste) หมายถึง ของเสียที่อาจอยู่ในรูปของแข็ง สลัดจ์ ของเหลว หรือก๊าซ ที่อาจเกิดปฏิกิริยาเคมีรุนแรง มีลักษณะเป็นพิษ เกิดการระเบิด กัดกร่อน หรือลักษณะอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ของเสียอันตรายจะไปเกี่ยวข้องกับการจัดการหรือการกำจัดเพื่อมิให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกต่อไป (Carson, 2001)

โดยที่เถ้าลอยชนิดนี้ก็เช่นเดียวกันที่จะต้องมีการลดระดับความเป็นพิษก่อนการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ถึงแม้จะมีในปริมาณที่ต่ำก็ตาม เพราะฉะนั้นการนำเถ้าลอยไปใช้ประโยชน์และให้เกิดความปลอดภัยนั้น ต้องทำให้โลหะหนักปนเปื้อนออกมาได้น้อยที่สุด หรือทำให้ความเป็นพิษลดลง ด้วยวิธีการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน (Stabilization and Solidification) ซึ่งวิธีการนี้ เป็นวิธีการจัดการของเสียอันตราย (Keats, 1994)

การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน (Stabilization and Solidification) เป็นกระบวนการทางกายภาพเคมี (Physicochemical Process) ซึ่งเป็นการกำจัดของเสียอันตรายให้หมดสิ้น วิธีปรับเสถียรจะมีการใส่สารเคมีหรือวัสดุอื่น ๆ ผสมกับของเสียอันตราย เพื่อไม่ให้สารอันตรายแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อลดระดับความเป็นพิษของของเสียอันตราย ส่วนวิธีการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนของของเสียอันตรายเป็นกระบวนการทำให้ของเสียแข็งตัว คือ ทำให้ของเสียถูกเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2546)

โดย **การทำให้เสถียร (Stabilization)** นั้นเป็นกระบวนการนำวัสดุสารมาเติมเพื่อลดความเป็นพิษของกากของเสีย โดยการเปลี่ยนรูปทางเคมีของของเสีย ให้มีรูปแบบที่เสถียรยิ่งขึ้น ซึ่งอาจรวมถึงการสร้างสารประกอบที่ไม่ละลาย ซึ่งจับสารพิษไว้ในโครงสร้างของผลึกที่เสถียร (Keats, 1994) ทำให้ลดอัตราการเคลื่อนที่ออกของสารปนเปื้อนไปสู่สิ่งแวดล้อม และช่วยลดระดับความเป็นพิษด้วย เปรียบเสมือนการบำบัดของเสีย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2546)

ส่วน **การทำให้แข็งตัวเป็นก้อน (Solidification)** ซึ่งเป็นการนำวัสดุสารมาผสมลงในของเสียอันตราย ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือตะกอนแล้วทำให้กากของเสียนั้นเป็นก้อนแข็ง มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น (Keats, 1994) เกิดความแข็งแรง รับแรงกดได้มากขึ้น และช่วยลดความสามารถของน้ำซึมผ่านได้ วัสดุที่ช่วยก่อให้แข็งตัวได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น ส่งผลให้ของเสียอันตรายมีเสถียรภาพดีขึ้น (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2546) สามารถเคลื่อนย้าย ขนส่งได้สะดวก ในระหว่างการทำให้เป็นก้อนมักเกิดการทำเสถียรพร้อมกัน เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้น โดยสารมลพิษถูกทำให้เสถียรและถูกดักจับไว้ภายในโครงสร้างโมเลกุลของก้อนมวลที่แข็งตัว (Keats, 1994) ซึ่งทั้งการทำเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนนั้นเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการของเสียอันตราย (Wiles, 1989)

วิธีการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนเป็นวิธีที่อาศัยการเติมสารปรับเสถียรหรือสารที่ทำให้เป็นก้อนแข็ง ซึ่งมีใช้กันหลายชนิด สามารถพบได้ทั่วไป เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น

โดยที่ผู้วิจัยเลือกวิธีการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนด้วยซีเมนต์ เนื่องจากในเถ้าลอยชนิดนี้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้ จะมีซีเมนต์เป็นตัวทำให้เกิดการปรับเสถียรและการทำให้เกิดการแข็งตัวเป็นก้อนของของเสีย โดยที่ซีเมนต์จะทำงานได้ดีกับของเสียอนินทรีย์โดยเฉพาะพวกโลหะหนัก ซึ่งการปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนของของเสียอันตรายนี้ เป็นการบำบัดหรือลดระดับของความเป็นพิษของของเสีย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2546) ในที่นี้หมายถึง เถ้าลอย ก่อนที่จะนำไปกำจัดและปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นการลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ซีเมนต์ยังเป็นเทคโนโลยีที่ง่ายและราคาถูก แต่การที่จะนำไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพ ต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของสารพิษแต่ละชนิดที่จะนำมาทำเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนด้วย (Alba, *et al.,* 2001)

การปรับเสถียรของเสียอันตรายด้วยซีเมนต์ ซีเมนต์ในที่นี้จะหมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮโดรลิก (Hydraulic Cement) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเกิดจาการเผาส่วนผสมต่าง ๆ ได้แก่ หินปูน (Limestone) หรือดินปูนขาว (Marl) กับ ดินเหนียว (Clay) หรือ ดินดาน (Shale) (วินิต ช่อวิเชียร, 2544) ซึ่งอาจจะมีการเติมแร่เหล็ก (Iron ore) หรือ ยิปซัม (Gypsum) (ประณต กุลประยูร, 2541) จนรวมตัวผสมกันในสัดส่วนที่ถูกต้อง เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ ได้แก่ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม และเหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมีและรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในรูปของผลึกและละเอียดมาก เกิดสารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หลังจากการเผา ดังแสดงในตาราง 6 โดยให้ชื่อย่อของสารประกอบที่ได้เหล่านี้ตามอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ โดยใช้ชื่อย่อของออกไซด์ของธาตุใดด้วยอักษรของธาตุนั้นเพียงตัวเดียว คือ CaO ย่อเหลือตัว C ; SiO_2 ย่อเหลือตัว S ; Al_2O_3 ย่อเหลือตัว A และ Fe_2O_3 ย่อเหลือตัว F

ตาราง 6 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate)	3 CaO. SiO_2	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate)	2 CaO. SiO_2	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium aluminate)	3 CaO. Al_2O_3	C_3A
เตตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium aluminoferrite)	4 CaO. Al_2O_3. Fe_2O_3	C_4AF

ที่มา : วินิต ช่อวิเชียร, 2544

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำตามสัดส่วนแล้ว สามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration) ซึ่งอัตราการก่อตัวและแข็งตัวตลอดจนปริมาณความร้อนที่เกิด ขึ้นอยู่กับความละเอียดและส่วนประกอบของผงปูนซีเมนต์ ความแข็งแรงและความทนทานเมื่อแข็งตัว ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมและการให้ความชื้นในขณะที่เริ่มแข็งตัว (วินิต ช่อวิเชียร, 2544)

ในการทำเสถียรด้วยวิธีซีเมนต์นี้จะเป็นการนำของเสียผสมเข้ากับซีเมนต์และน้ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยที่ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในปูนซีเมนต์นี้จะอยู่ในรูปของโครงสร้างผลึก

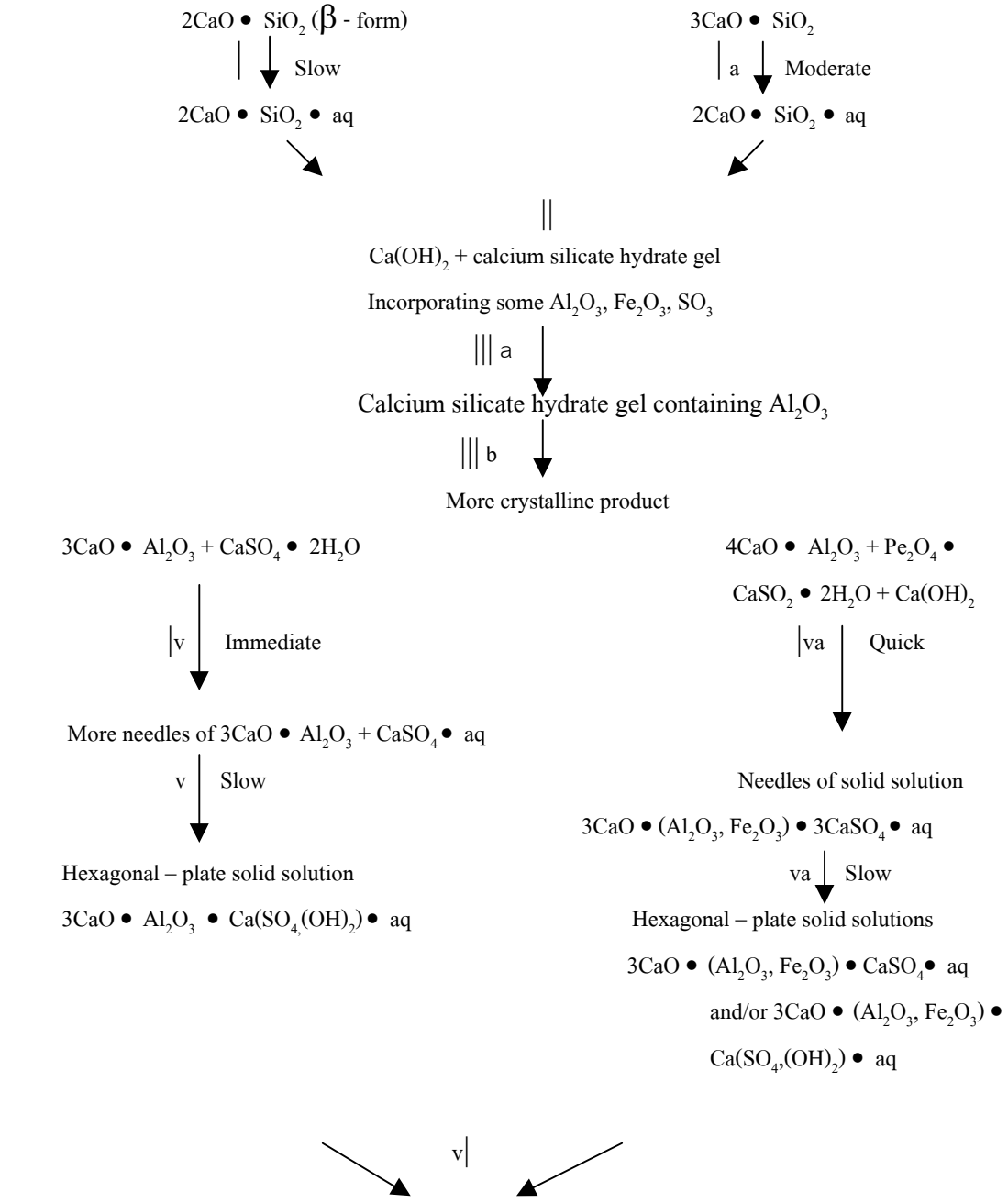
ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นของ Tricalcium silicate เป็นดังสมการ

$$2(3CaO \bullet SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO \bullet 2SiO_2 \bullet 3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

และปฏิกิริยาของ Dicalcium silicate ดังสมการ

$$2(2CaO \bullet SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO \bullet 2SiO_2 \bullet 3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลให้เกิดวุ้น (Gel) มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน มีความเหนียวคล้ายกาว เกิดการก่อตัว แข็งตัวและยึดเกาะกับวัสดุผสม (วินิต ช่อวิเชียร, 2539) ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งจะไปสอดคล้องกับการบ่มปูนซีเมนต์คอนกรีต ดังสมการ (Keats, 1994)



ปฏิกิริยาของ Tricalcium aluminate ที่เกิดขึ้นทันทีทันใดในปูนซีเมนต์เป็นดังสมการ

$3CaO \bullet Al_2O_3 + 6H_2O \rightarrow 3CaO \bullet 2\,Al_2O_3 \bullet 6H_2O + heat$ (Keats, 1994)

การทำเสถียรเป็นการจัดการของเสียที่อันตรายและมีพิษเท่านั้น (Wiles, 1989) และการทำเสถียรด้วยปูนซีเมนต์นี้ เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการจัดการของเสียที่เป็นสารอนินทรีย์ โดยเฉพาะที่มีโลหะหนัก เนื่องด้วยปูนซีเมนต์มีค่า pH ที่สูง ทำให้กลุ่มโลหะหนักถูกกักเอาไว้ในรูปของ Hydroxide หรือเกลือ Carbonate Salts ที่ไม่ละลายน้ำภายในโครงสร้างที่แข็งขึ้น

จากการศึกษาการทำเสถียรของ ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี ดีบุก และแคดเมียม พบว่าพันธะของสารเหล่านี้จะยึดเกาะกันทางเคมี ซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ในขณะที่ปรอทจะมีการยึดเกาะกันในทางกายภาพมากกว่า

ในทางตรงกันข้าม การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ภายในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงและทำเสถียรได้ยาก ลดโครงสร้างผลึกส่งผลให้มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน สารส่วนเพิ่มตัวอื่น ๆ อาจทำให้เกิดการรวมตัวกันของการทำเสถียรภายในปูนซีเมนต์ ซึ่งจะไปลดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และสอดแทรกภายในปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์แล้วเสริมการทำเสถียร สารส่วนเพิ่มเป็นสารอินทรีย์ พวกดินเหนียว โซเดียมซิลิเกต

เป็นการยากที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่แน่นอนภายในการทำเสถียรด้วยปูนซีเมนต์ ในการศึกษาการยึดเกาะทางเคมีของโลหะหนัก ตะกั่ว และโครเมียม ของของเสียอันตรายในปูนซีเมนต์ พบว่า ตะกั่วตกตะกอนบริเวณผิวหน้าของอนุภาคปูนซีเมนต์ในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ที่ซึ่งโครเมียมจะแพร่กระจายไปทั่วตลอดทั้งอนุภาคของปูนซีเมนต์ (Keats, 1994)

จากการศึกษาของ Alba, *et al.,* (2001) โดยใช้เถ้าลอยเตาเผามูลฝอยที่ไม่ถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมมลพิษทางอากาศ (FA) (FA = Fly Ash ; produce in an electrostatic presipitation) และเถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยที่ถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมมลพิษทางอากาศ (APC) (APC = Air Pollution Control ; residuces from a semi – dry scrubber process) ซึ่งเถ้าลอยทั้ง 2 ชนิดนี้ เป็นของเสียอันตราย เนื่องจากมีโลหะหนักและเกลือเป็นองค์ประกอบ มาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในส่วนน้อย โดยการปรับเสถียรและการทำเป็นก้อนแข็งด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่า มีความแตกต่างของเปอร์เซนต์ของซีเมนต์เพสต์ของ FA และ APC ตามคุณสมบัติทางกายภาพ ผลจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น พบว่า การก่อตัวของ APC เร็วกว่า FA และเกิดการหน่วงตัวในปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของ FA สารที่ถูกชะล้างได้ พบว่า มีโลหะหนัก (Zn, Pb และ Cd) และซัลเฟตอยู่ภายในเพสต์ นอกจากนี้คลอไรด์จะถูกกันเอาไว้บางส่วน กระบวนการ Carbonation จะเพิ่มขึ้น

ส่วน Collivignarelli and Sorlini (2002) ได้การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าลอยมาผสมเพิ่มในวัสดุผสมธรรมชาติในงานคอนกรีต โดยการบดและล้างเถ้าก่อนนำไปทำเสถียรด้วย Cement – lime process และใช้เป็นวัสดุผสมรีไซเคิลในสารผสมการผลิตคอนกรีต พบว่า

จากคุณสมบัติของเถ้าลอยที่ยังไม่ผ่านกระบวนใด ๆ มีปริมาณ Pb, Cu และ Cd สูง แม้ว่าจะมีการล้างเถ้าแล้วแต่ปริมาณโลหะหนักดังกล่าวก็ยังคงสูงกว่ามาตรฐานของวัสดุผสมธรรมชาติ หลังจากการทำเสถียรและทำให้แข็งตัวเป็นก้อนแล้ว พบว่า คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพดีขึ้น กำลังรับแรงอัดสูงขึ้นหลังจากบ่มที่ 28 วัน รับกำลังอัดขั้นต่ำในการใช้ประโยชน์ที่ 150 กก./ตร.ซม. ได้ และมีการชะล้างของสารในคอนกรีตที่อายุการบ่มหลังจาก 28 วัน ต่ำกว่าข้อกำหนด

การทำเสถียรสารอนินทรีย์มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการทำให้เกิดการยึดเกาะของตะกอนโลหะออกไซด์ที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการทำเสถียรสารที่ไม่สามารถย่อยสลายและไม่สามารถเปลี่ยนโครงสร้างอะตอมหลังจากถูกเผาไหม้ได้ ดังนั้นการทำเสถียรด้วยปูนซีเมนต์จึงเป็นที่ยอมรับในการนำไปใช้ประโยชน์

แต่การที่จะนำเทคโนโลยีการทำเสถียรด้วยปูนซีเมนต์ไปใช้ จะต้องรู้และเข้าใจกลไกทางฟิสิกส์ – เคมี ในการตกตะกอน การดูดซับ วิธีปฏิบัติและควบคุมในการผสม การก่อตัว และการแข็งตัว นอกจากนี้ยังต้องรู้ถึงเทคนิควิธีในการเอาน้ำออกจากตะกอน รวมไปถึงประเภทของของเสียชนิดที่ไม่จำเป็นต้องใช้น้ำมากในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น สภาพความเป็นด่างในปูนซีเมนต์จะทำให้สภาพความเป็นกรดในของเสียกลายเป็นกลาง แต่ข้อเสียของปูนซีเมนต์ก็คือ ถ้ามีการปนเปื้อนของสารชนิดอื่น ๆ ที่มีผลต่อปูนซีเมนต์จะทำให้ปูนซีเมนต์เกิดการหน่วงการก่อตัว หรือ ไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งจะส่งผลต่อการก่อตัวและการแข็งตัวของวัตถุดิบ (Keats, 1994)

การปรับเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ขึ้นกับรูปแบบของการทำให้เป็นก้อนแข็งและวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน ซึ่งก็มีก้อนคอนกรีตหลายแบบให้เลือก ผู้วิจัยเลือกที่จะทำให้เป็นก้อนแข็งในลักษณะของก้อนคอนกรีตบล็อกที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งคอนกรีตบล็อกนี้เป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง (Construction) ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้สำหรับผนัง หรือโครงสร้างอื่น ๆ เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตไม่ยุ่งยาก ประหยัดเวลา ใช้แรงงานน้อย มีความแข็งแรงทนทาน สามารถทำเองได้ภายในครัวเรือน นอกจากนี้ยังง่ายต่อการวางแผนออกแบบก่อสร้างสำหรับช่างก่อสร้างที่มีความชำนาญไม่มากนัก
(พิภพ สุนทรสมัย, 2544)

คอนกรีตบล็อก (Hollow Concrete Block or Hollow Concrete Masonry Unit)

คอนกรีตบล็อก หมายถึง ก้อนคอนกรีตทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่าง ๆ เช่น กรวด ทราย หินย่อย และจะมีสารผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ นิยมใช้กันมากในงานก่อสร้าง ใช้สำหรับก่อผนังหรือกำแพง มีรูโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 58 – 2530)

คอนกรีตบล็อกแบ่งตามการใช้งาน ได้แก่

1. คอนกรีตบล็อกผนัง เช่น ใช้ทำบ้านคอนกรีตบล็อก (Concrete Block Homes) อาคารกสิกรรมคอนกรีตบล็อก (Concrete Block Farm Building) กำแพงกันดิน (Retaining Wall) และกำแพงอื่น ๆ (พิภพ สุนทรสมัย, 2544)

2. คอนกรีตบล็อกพื้น

3. คอนกรีตบล็อกปูถนน (พิภพ สุนทรสมัย, 2543)

หรือ แบ่งตามลักษณะก้อนคอนกรีต ได้แก่

1. คอนกรีตบล็อกแบบกลวง (Hollow Concrete Block) ยังจำแนกได้ 2 ชนิด คือ

1.1 ชนิดรับน้ำหนัก (Load Bearing Block) หมายถึง คอนกรีตบล็อกที่ใช้สำหรับผนังที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักตัวเอง

1.2 ชนิดไม่รับน้ำหนัก (Non - Load - Bearing Block) หมายถึง คอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใด ๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง ซึ่งขนาดของคอนกรีตบล็อกทั้ง 2 ชนิด จะเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 57 - 2530 และ มอก. 58 - 2530

2. คอนกรีตบล็อกแบบตัน (Solid Concrete Block) มีเฉพาะชนิดรับน้ำหนักเท่านั้น หมายถึง คอนกรีตบล็อกเชิงตันที่ใช้สำหรับก่อผนังหรือกำแพง ที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักของตัวเอง ขนาดตามมาตรฐาน มอก. 60 - 2516

สำหรับคอนกรีตบล็อกในประเทศไทยมีผู้ผลิตหลายราย ผลิตออกมาหลายแบบหลายขนาด แต่ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานของ มอก. (ประณต กุลประสูตร, 2541)

จากรูปแบบก้อนคอนกรีตบล็อกที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ผู้วิจัยเลือกที่จะทำ คือ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hollow Non - Load - Bearing Concrete Masonry Units) ซึ่งหมายถึง คอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใด ๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง

นอกจากเหตุผลที่ทำได้ง่าย ใช้เวลาน้อย ราคาวัตถุดิบต่ำ ใช้แรงงานน้อย สามารถทำเองได้ภายในครัวเรือนแล้ว เหตุผลหลัก คือ เนื่องจากเมื่อใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน และเป็นส่วนผสมหนึ่งในก้อนคอนกรีตแล้ว จะทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตลดลง ซึ่งคอนกรีตบล็อกชนิดนี้เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำมากอยู่แล้ว (ประมาณ 25 กก./ตร.ซม.) เมื่อเปรียบเทียบกับงานคอนกรีตประเภทอื่น ๆ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 58 - 2530 ซึ่งคาดว่าเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยบางส่วน เข้าไปเป็นส่วนผสมของการทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักนี้ เมื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดแล้ว จะสามารถรับกำลังอัดที่ประมาณ 25 กก./ตร.ซม. ได้ จึงเห็นสมควรที่จะใช้คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักในการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งยังเป็นการนำเถ้าลอยซึ่งเป็นของเสียมาใช้ประโยชน์ใหม่ อันจะช่วยลดปริมาณเถ้าหลังจาก

การเผาไหม้ก่อนนำไปฝังกลบและลดการขยายใช้พื้นที่ที่จะใช้ในการก่อสร้างหลุมในการฝังกลบ รวมถึงเพิ่มอายุการใช้งานของหลุมฝังกลบที่มีอยู่เดิมแล้วอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยอาศัยหลักการทำเสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์

2.เพื่อวิเคราะห์และประเมินต้นทุนการผลิตและผลประโยชน์เบื้องต้นของการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อได้แนวทางในการนำกากของเสียจากเตาเผามูลฝอยชุมชนมาใช้ประโยชน์ใหม่ ซึ่งอาจเป็นแนวทางหนึ่งของการจัดการของเสียที่มีประสิทธิผลดีกว่า โดยจะช่วยลดปัญหามลภาวะที่อาจเกิดขึ้นได้จากการฝังกลบเถ้าในระยะยาว